



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 102 01 893 A 1

⑩ Int. Cl. 7:  
H 01 M 8/02

⑩ Unionspriorität:  
01-010519 18. 01. 2001 JP

⑪ Anmelder:  
Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP

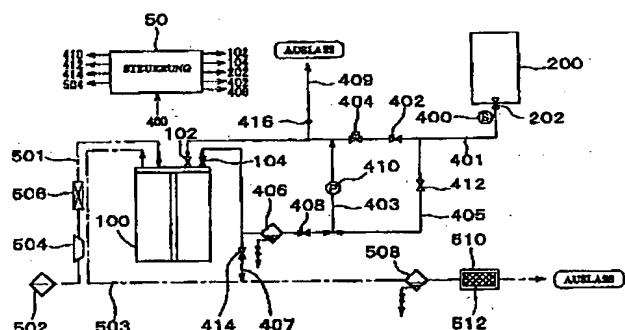
⑫ Vertreter:  
WINTER, BRANDL, FÜRNİSS, HÜBNER, RÖSS,  
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising

⑩ Erfinder:  
Nonobe, Yasuhiro, Toyota, Aichi, JP; Kurita, Kenji,  
Toyota, Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑩ On-board-Brennstoffzellensystem und Verfahren zum Steuern desselben

⑩ Ein On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug weist eine Hauptleitung (401) auf, die eine Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) mit einem Einlass einer Brennstoffzelle (100) verbindet, eine Zirkulationsleitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer ersten Stelle in der Hauptleitung (401) verbindet, eine Pumpe (410), die in der Zirkulationsleitung (403) angeordnet ist, und eine Überbrückungsleitung (405), die eine zweite Stelle zwischen dem Auslass der Speichervorrichtung und der ersten Stelle mit einer in der Zirkulationsleitung zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle und der Pumpe liegenden dritten Stelle verbindet. Während eines normalen Betriebszustands des Systems strömt Wasserstoffgas von der Speichervorrichtung durch die Hauptleitung zur Brennstoffzelle und von der Brennstoffzelle durch die Zirkulationsleitung zurück zur Hauptleitung. Wenn der Druck des Wasserstoffgases niedriger ist als ein Referenzdruck, geht die Pumpe in Betrieb, um Wasserstoffgas von der Speichervorrichtung anzu saugen und der Brennstoffzelle von der Hauptleitung durch die Überbrückungsleitung zur Zirkulationsleitung und durch die Hauptleitung zuzuführen.



DE 102 01 893 A 1

DE 102 01 893 A 1

## Beschreibung

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## 1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf ein On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, wie z. B. ein Automobil, sowie auf ein Verfahren zum Steuern eines derartigen On-board-Brennstoffzellensystems.

## 2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Es ist bekannt, dass Brennstoffzellen unter Verwendung von Wasserstoffgas, welches aus einem Hochdruckwasserstoffgasbehälter oder einem Behälter mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung zugeführt wird, elektrische Leistung bzw. elektrische Energie erzeugen. Brennstoffzellen, die einen hohen energetischen Wirkungsgrad haben, sind zur Verwendung als Energiequelle für Elektrofahrzeuge und dergleichen gedacht.

[0003] Wird eine derartige Brennstoffzelle als Energiequelle für ein Fahrzeug verwendet, muß am Fahrzeug ein Brennstoffzellensystem eingerichtet sein, welches nicht nur die Brennstoffzelle sondern auch eine Wasserstoffgasversorgung, wie z. B. einen Hochdruckwasserstoffgasbehälter oder einen Behälter mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, und eine Wasserstoffgasleitung aufweist, durch die das Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgung der Brennstoffzelle zugeführt wird.

[0004] Für den Einbau im Fahrzeug ist das Brennstoffzellensystem daher in der Größe vorzugsweise so kompakt als möglich und im Gewicht vorzugsweise so leicht als möglich ausgeführt. Des weiteren ist erforderlich, dass das Brennstoffzellensystem, welches mit einem höchst brenn- oder entzündbaren Wasserstoffgas arbeitet, einen hohen Grad an Sicherheit gewährleistet.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Brennstoffzellensystem zur Verfügung zu stellen, welches zum Einbau in ein Fahrzeug ein geringes Gewicht aufweist und in der Größe kompakt ist, und welches einen hohen Grad an Sicherheit gewährleistet.

[0006] Zur Lösung der vorstehenden und/oder weiterer Aufgaben ist gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ein für den Einbau in ein Kraftfahrzeug geeignetes On-board-Brennstoffzellensystem vorgesehen, welches (a) eine Wasserstoffgasspeichervorrichtung mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, welche in der Lage ist, Wasserstoffgas zu absorbieren oder abzugeben, (b) eine Brennstoffzelle, die mit dem von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um unter Abgabe eines Wasserstoffgasrests elektrische Leistung bzw. elektrische Energie zu erzeugen, (c) eine erste Leitung, die einen Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, (d) eine zweite Leitung, die einen Auslass der Brennstoffzelle mit einer ersten Stelle in der ersten Leitung verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, (e) eine in der zweiten Leitung angeordnete Pumpe zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zur ersten Stelle in der ersten

Leitung, (f) eine dritte Leitung, die eine in der ersten Leitung zwischen einem Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung und der ersten Stelle befindliche zweite Stelle mit einer in der zweiten Leitung zwischen dem Auslass der

- 5 Brennstoffzelle und der Pumpe befindlichen dritten Stelle verbindet und ein Durchströmen eines von der ersten Leitung abgeleiteten Wasserstoffgases zur Zufuhr zur zweiten Leitung ermöglicht, (g) ein in der ersten Leitung zwischen der zweiten Stelle und der ersten Stelle angeordnetes erstes
- 10 Ventil, das durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas ermöglichen bzw. verhindern kann, (h) ein in der zweiten Leitung zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle und der dritten Stelle angeordnetes zweites Ventil, das durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas ermöglichen bzw. verhindern kann, (i) ein in der dritten Leitung angeordnetes drittes Ventil, das durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas ermöglichen bzw. verhindern kann, und (j) eine Steuerung aufweist, die die Pumpe und das erste, zweite und dritte Ventil ansteuert. Wenn der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases größer ist als ein Referenzdruck, öffnet die Steuerung das erste und zweite Ventil und schließt das dritte Ventil, so dass das von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebene Wasserstoffgas durch die erste Leitung der Brennstoffzelle zugeführt und das von der Brennstoffzelle abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung zur ersten Leitung zurückströmt, wobei die Pumpe das Wasserstoffgas in Zirkulation versetzt. Ist der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases andererseits niedriger als der Referenzdruck, schließt die Steuerung das erste und zweite Ventil und öffnet das dritte Ventil und lässt die Pumpe Wasserstoffgas aus der Wasserstoffgasspeichervorrichtung saugen und das Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführen, so dass der Brennstoffzelle Wasserstoffgas von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird.
- 15 [0007] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Steuern eines gemäß vorstehender Beschreibung ausgelegten On-board-Brennstoffzellensystems vorzusehen, welches die Schritte (a) Bestimmen, ob der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases gleich oder größer ist als ein Referenzdruck, (b) wenn der Wasserstoffgasdruck größer ist als der Referenzdruck, Öffnen des ersten und zweiten Ventils und Schließen des dritten Ventils, so dass das von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebene Wasserstoffgas durch die erste Leitung der Brennstoffzelle zugeführt wird und das von der Brennstoffzelle abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung zur ersten Leitung zurückströmt, wobei die Pumpe das Wasserstoffgas in Zirkulation versetzt, und (c) wenn der Wasserstoffgasdruck niedriger ist als der Referenzdruck, Schließen des ersten und zweiten Ventils und Öffnen des dritten Ventils und Veranlassen, dass die Pumpe Wasserstoffgas aus der Wasserstoffgasspeichervorrichtung saugt und Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführt, so dass der Brennstoffzelle Wasserstoffgas von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird, aufweist.
- 20 [0008] In dem vorstehend beschriebenen On-board-Brennstoffzellensystem bzw. nach dem vorstehend beschriebenen Steuerungsverfahren wird eine einzige Pumpe dazu verwendet, während eines normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems, in dem der Wasserstoffgasdruck größer ist als der Referenzdruckpegel, Wasserstoffgas zirkulieren zu lassen zu lassen und, wenn der Wasserstoffgasdruck niedriger ist als der Referenzdruckpegel, wie z. B. bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems bei ei-

ner niedrigen Temperatur, zudem Wasserstoffgas anzusaugen. Somit wird für die beiden Zwecke, d. h. die Zirkulation des Wasserstoffgases und das Ansaugen des Gases aus der Speichervorrichtung, dieselbe Pumpe verwendet mit dem Ergebnis, dass für den Einbau des Brennstoffzellensystems in das Fahrzeug weniger Volumen benötigt wird und verglichen mit dem Fall, in dem für die beiden vorstehenden Zwecke unabhängige Pumpen oder andere Vorrichtungen vorgesehen sind, das Gewicht des Systems reduziert ist.

[0009] Durch die Zirkulation von Wasserstoffgas mittels der Pumpe während eines normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems wird der scheinbare Durchsatz (d. h. die Menge und die Strömungsgeschwindigkeit) des der Brennstoffzelle zugeführten Wasserstoffgases vergrößert, was im Hinblick auf die Wasserstoffgasversorgung der Brennstoffzelle von Vorteil ist und zu einer erhöhten Ausgangsspannung der Brennstoffzelle führt. Des weiteren werden selbst für den Fall, dass Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, in das Wasserstoffgas in der Brennstoffzelle eindringen, die Verunreinigungen über die gesamte Länge des Wasserstoffgasströmungssystems, welches die erste und zweite Leitung umfasst, mit dem im Strömungssystem zirkulierenden Wasserstoffgas gleichmäßig verteilt. Somit wird verhindert, dass in der Brennstoffzelle Verunreinigungen zurückbleiben und zu einem Problem im Hinblick auf den Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle führen.

[0010] Obwohl es wenig wahrscheinlich ist, dass bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems bei einer niedrigen Temperatur Wasserstoffgas von der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung in der Wasserstoffgasspeicher- vorrichtung abgegeben wird, ist die Pumpe in der Lage, Wasserstoffgas aus der Speichervorrichtung zu saugen, so dass die Brennstoffzelle innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums ihren Betrieb in einem stationären Zustand aufnehmen kann.

[0011] Das vorstehend genannte erste und zweite Ventil könnten beispielsweise in einem Strömungswegschaltventil integriert sein.

[0012] Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung ist ein für den Einbau in ein Kraftfahrzeug geeignetes On-board-Brennstoffzellensystem vorgesehen, welches (a) eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung, die Wasserstoffgas liefert, (b) eine Brennstoffzelle, die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um unter Abgabe eines Wasserstoffgasrests elektrische Leistung bzw. elektrische Energie zu erzeugen, und die eine Vielzahl von Kanälen aufweist, durch welche Wasserstoffgas strömt, (c) eine erste Leitung, die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, (d) eine zweite Leitung, die einen Auslass der Brennstoffzelle mit einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, (e) eine in der zweiten Leitung angeordnete Pumpe zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zu der bestimmten Stelle in der ersten Leitung, und (f) eine Steuerung aufweist, die die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung und die Pumpe steuert. Bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems lässt die Steuerung die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung Wasserstoffgas liefern und treibt die Pumpe an, um eine Wasserstoffgasströmung durch wenigstens einen Abschnitt der ersten und zweiten Leitung und durch die Kanäle der Brennstoffzelle zu induzieren, um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden

sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zum Bereitstellen eines homogenen Gemisches zu mischen.

[0013] Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung ist ein 5 Verfahren zum Steuern des gemäß der vorstehenden Beschreibung ausgelegten On-board-Brennstoffzellensystems vorgesehen, welches die Schritte: (a) Verlassen der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung, bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems Wasserstoffgas zu liefern, und 10 (b) Antreiben der Pumpe zum Induzieren einer Wasserstoffgasströmung durch wenigstens einen Abschnitt der ersten und zweiten Leitung und durch die Kanäle der Brennstoffzelle, um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgas zum Bereitstellen eines homogenen Gemisches zu mischen, aufweist. 15 [0014] Bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems können Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, in den Wasserstoffgaskanälen in der Brennstoffzelle enthalten sein. 20 Wird lediglich zugelassen, dass Wasserstoffgas durch die Wasserstoffgaskanäle strömt, dauert es lange, bis die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle den gewünschten Spannungspegel erreicht. Bei dem vorstehend beschriebenen On-board-Brennstoffzellensystem oder Steuerungsverfahren 25 wird bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems daher Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung geliefert und gleichzeitig die Pumpe angetrieben, um eine verstärkte Wasserstoffgasströmung durch geeignete Wasserstoffgaskanäle zu induzieren oder zu erzeugen und um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zu mischen, um ein homogenes Gemisch zu erhalten. 30 [0015] Durch gleichmäßiges Mischen zurückgebliebener 35 Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas, wie vorstehend beschrieben, wird die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle unmittelbar auf den gewünschten Pegel angehoben, so dass die an die Brennstoffzelle angeschlossene Last mit der gewünschten Energie versorgt werden kann.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

45 [0016] Vorstehende und/oder weitere Gegenstände, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in denen zur Darstellung baugleicher Komponenten dieselben Bezeichnungen verwendet wurden und in denen: 50 [0017] Fig. 1 eine schematische Darstellung ist, die den Aufbau eines On-board-Brennstoffzellensystems gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zeigt; 55 [0018] Fig. 2 ein Querschnitt eines Beispiels für einen Gas-Flüssigkeit-Separator zur Verwendung im Brennstoffzellensystem von Fig. 1 ist; [0019] Fig. 3 ein Ablaufschema ist, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine veranschaulicht, die durch eine 60 Steuerung ausgeführt wird, wenn das Brennstoffzellensystem von Fig. 1 in Betrieb genommen wird; [0020] Fig. 4 eine schematische Darstellung ist, die den Aufbau eines On-board-Brennstoffzellensystems gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zeigt; und 65 [0021] Fig. 5 ein Ablaufschema ist, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine zeigt, die durch eine Steuerung ausgeführt wird, wenn das Brennstoffzellensystem von Fig. 4 in

Betrieb genommen wird.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

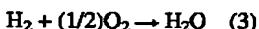
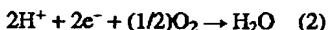
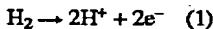
[0022] Unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen werden einige beispielhafte bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ausführlich beschrieben.

##### Erste Ausführungsform

[0023] Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines On-board-Brennstoffzellensystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform ist in einem Kraftfahrzeug, z. B. einem Automobil, eingebaut. Das Brennstoffzellensystem umfasst primär eine Brennstoffzelle 100, die unter Verwendung von zugeführtem Wasserstoffgas elektrische Leistung bzw. elektrische Energie erzeugt, und einen Behälter 200 mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, aus welchem die Brennstoffzelle 100 mit Wasserstoffgas versorgt wird.

[0024] Die Brennstoffzelle 100 wird mit einem Oxidationsgas (beispielsweise Luft), welches Sauerstoff enthält, sowie dem Wasserstoffgas, welches Wasserstoff enthält, versorgt. Das so zugeführte Wasserstoff- und Oxidationsgas werden an einer Wasserstoff- bzw. Sauerstoffelektrode elektrochemischen Reaktionen unterzogen, die nachstehend durch die Formeln (1) und (2) ausgedrückt sind, so dass die Brennstoffzelle 100 elektrische Leistung bzw. elektrische Energie erzeugt.

[0025] Im Besonderen erfolgt an der Seite der Wasserstoffelektrode die durch die nachstehende Formel (1) ausgedrückte Reaktion, wenn die Wasserstoffelektrode mit Wasserstoffgas versorgt wird, und an der Seite der Sauerstoffelektrode die durch die nachstehende Formel (2) ausgedrückte Reaktion, wenn die Sauerstoffelektrode mit Oxidationsgas versorgt wird. Die Brennstoffzelle 100 führt somit insgesamt die durch die nachstehende Formel (3) ausgedrückte elektrochemische Reaktion durch.



[0026] In dem Fahrzeug, in das das Brennstoffzellensystem 100 als eine Energiequelle eingebaut ist, wird durch die elektrische Energie, die das Brennstoffzellensystem 100 erzeugt, ein (nicht gezeigter) Elektromotor angetrieben. Das daraus resultierende Drehmoment des Elektromotors wird anschließend auf eine (nicht gezeigte) Achswelle übertragen, wodurch die Antriebskraft des Fahrzeugs erzeugt wird.

[0027] Die Brennstoffzelle 100 weist einen Stack-Aufbau auf, welcher durch Stapeln oder Schichten einer Vielzahl von Einzelzellen erhalten wird. Jede Einzelzelle weist eine (nicht gezeigte) Elektrolytschicht, ein Paar (nicht gezeigter) Diffusionselektroden in Form der Wasserstoff- und Sauerstoffelektrode und zwei Separatoren auf. Die Wasserstoff- und Sauerstoffelektroden sind an entgegengesetzten Hauptoberflächen der Elektrolytschicht angeordnet; die Separatoren sind an den Außenoberflächen der Wasserstoff- und Sauerstoffelektroden angeordnet. An den entgegengesetzt liegenden Oberflächen der Separatoren sind jeweils Nuten oder Aussparungen in der Weise ausgebildet, dass zwischen den Separatoren und der Wasserstoff- und Sauerstoffelektrode, welche dazwischen liegen, Einzelzellengaskanäle

ausgebildet sind. Im Betrieb strömt der Brennstoffzelle 100 zugeführtes Wasserstoffgas durch die zwischen den Separatoren und den Wasserstoffelektroden ausgebildeten Einzelzellengaskanäle und der Brennstoffzelle 100 zugeführtes

5 Oxidationsgas durch die zwischen den Separatoren und den Sauerstoffelektroden ausgebildeten Einzelzellengaskanäle.

[0028] Der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthält die (nicht gezeigte) Wasserstoffgas absorbierende Legierung. Im Allgemeinen wird die

10 Wasserstoffgas absorbierende Legierung bei einer Erhitzung einer endothermischen Reaktion unterzogen, wodurch Wasserstoff abgegeben wird, und bei einer Kühlung einer exothermischen Reaktion, wodurch Wasserstoff absorbiert wird. Um der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung

15 Wasserstoff zu entziehen, wird die im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltene Wasserstoffgas absorbierende Legierung daher durch einen (nicht gezeigten) geeigneten Wärmetauscher erhitzt.

[0029] Die Wasserstoffgas absorbierende Legierung kann 20 einen Qualitätsverlust erleiden, wenn sie mit Verunreinigungen reagiert. Daher ist im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung hochreiner Wasserstoff gespeichert.

[0030] Das Brennstoffzellensystem gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung weist ferner ein Wasserstoffgasströmungssystem, das eine Wasserstoffgasströmung durch das System ermöglicht, ein Oxidationsgasströmungssystem, das eine Strömung von Oxidationsgas durch das System ermöglicht, und eine Steuerung 50 auf.

[0031] Das Wasserstoffgasströmungssystem umfasst eine Hauptstromleitung 401, die sich von einem Auslass des Behälters 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung zu einem Einlass der Brennstoffzelle 100 erstreckt, eine Zirkulationsleitung 403, durch welche Wasserstoffgas 35 aus einem Auslass der Brennstoffzelle 100 durch eine nachstehend beschriebene Pumpe 410 zur Hauptstromleitung 401 zurückströmt, und eine Überbrückungsleitung 405, die von der Hauptstromleitung 401 abzweigt und mit der Zirkulationsleitung 403 in Verbindung steht. Das Wasserstoffgasströmungssystem umfasst des weiteren eine Ablaufleitung 407 zum Abgeben von Verunreinigungen, die in dem durch das Wasserstoffgasströmungssystem zirkulierenden Wasserstoffgas enthalten sind, und eine Entlastungsleitung 409 zum Abgeben einer bestimmten Menge von Wasserstoff bei

40 einem übermäßig hohen Wasserstoffgasdruck im Strömungssystem.

[0032] In der Hauptstromleitung 401 ist am Auslass des Behälters 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung ein Absperrventil 202 angeordnet; an ausgewählten 50 Stellen in der Leitung 401 sind ein Drucksensor 400, ein Absperrventil 402 und ein Druckreduzierventil 404 angeordnet. In der Zirkulationsleitung 403 ist am Einlass der Brennstoffzelle 100 ein Absperrventil 104 angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Leitung 403 sind ein Gas-Flüssigkeitsseparator 406, ein Absperrventil 408 und die Pumpe 410 angeordnet. Des weiteren ist in der Überbrückungsleitung 405 ein Absperrventil 412 und in der Ablaufleitung 407 ist ein Absperrventil 414 angeordnet, während in der Entlastungsleitung 409 ein Entlastungsventil 416 angeordnet ist.

[0033] Das Oxidationsgasströmungssystem umfasst anderseits eine Oxidationsgaszuführleitung 501, durch welche der Brennstoffzelle 100 Oxidationsgas zugeführt wird, und eine Sauerstoffabgasablaufleitung 503, durch welche Sauerstoffabgas von der Brennstoffzelle 100 abgegeben wird.

[0034] Im Oxidationsgasströmungssystem sind an ausgewählten Stellen in der Oxidationsgaszuführleitung 501 ein Luftreiniger 502, ein Kompressor 504 und ein Befeuchter 506 angeordnet. Des weiteren sind in der Sauerstoffabgas-

ablaufleitung 503 an ausgewählten Stellen ein Gas-Flüssigkeit-Separator 508 und ein Brenner 510 angeordnet.

[0035] Die Steuerung 50 erhält ein Signal vom Drucksensor 400 zum Erfassen des Drucks in der Hauptstromleitung 401 und steuert den Betrieb jedes der Ventile 102, 104, 202, 402, 408, 412, 414, der Pumpe 410 und des Kompressors 504. In Fig. 1 sind Steuerleitungen, die die Verbindung zwischen der Steuerung 50 und den vorstehenden Komponenten anzeigen, aus Gründen der Vereinfachung nicht angegeben.

[0036] Zunächst wird die Oxidationsgasströmung im Oxidationsgasströmungssystem kurz beschrieben. Der Kompressor 504 wird durch die Steuerung 50 in der Weise angetrieben, dass er eine geeignete Menge Luft aus der Atmosphäre in die Oxidationsgaszuführleitung 501 zur Verwendung als Oxidationsgas in der Brennstoffzelle 100 einleitet. Die so eingeleitete Luft wird durch den Luftreiniger 502 gereinigt, durch den Befeuchter 506 geleitet und anschließend durch die Oxidationsgaszuführleitung 501 der Brennstoffzelle 100 zugeführt. Das der Brennstoffzelle 100 zugeführte Oxidationsgas wird für die vorstehend beschriebene elektrochemische Reaktion verwendet und anschliessend als Wasserstoffabgas von der Brennstoffzelle 100 abgegeben. Das von der Brennstoffzelle 100 abgegebene Wasserstoffabgas strömt durch die Wasserstoffabgasablaufleitung 503, wobei es durch den (nachstehend ausführlich beschriebenen) Gas-Flüssigkeit-Separator 508 und den Brenner 510 strömt. Anschliessend wird das Wasserstoffabgas endgültig an die Atmosphäre abgegeben oder freigesetzt.

[0037] Als nächstes wird die Wasserstoffgasströmung im Wasserstoffgasströmungssystem ausführlich beschrieben. Die Steuerung 50 steuert den Betrieb des im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angeordneten Absperrventils 202 und der in der Brennstoffzelle 100 angeordneten Absperrventile 102, 104 in der Weise, dass die Ventile 202, 102, 104 während des Betriebs des Brennstoffzellensystems grundsätzlich geöffnet sind und bei Beendigung des Betriebs des Brennstoffzellensystems geschlossen werden.

[0038] Befindet sich das Brennstoffzellensystem in einem normalen Betriebszustand, steuert die Steuerung 50 die Absperrventile in der Weise, dass das Absperrventil 402 der Hauptstromleitung 401 und das Absperrventil 408 der Zirkulationsleitung 403 sowie die vorstehend beschriebenen Absperrventile 202, 102, 104 geöffnet, das Absperrventil 412 der Überbrückungsleitung 405 und das Absperrventil 414 der Ablaufleitung 407 jedoch geschlossen sind. Das Entlastungsventil 416 ist während des Steuerungsbetriebs der Steuerung 50 grundsätzlich geschlossen, es sei denn, der Wasserstoffgasdruck in der Leitung 401 wird übermäßig hoch, wie es nachstehend beschrieben wird. Der Drucksensor 400 erfasst den Druck des aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung abgegebenen Wasserstoffgases.

[0039] Im normalen Betriebszustand des Brennstoffzellensystems wird die im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltene Wasserstoffgas absorbierende Legierung durch ein geeignetes Wärmetauscher-System erhitzt, um Wasserstoffgas abzugeben. Das abgegebene Wasserstoffgas wird dann durch die Hauptstromleitung 401 der Brennstoffzelle 100 zugeführt. Das der Brennstoffzelle 100 zugeführte Wasserstoffgas wird bei der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle 100 verbraucht und anschliessend als Wasserstoffabgas von der Brennstoffzelle 100 abgegeben. Das abgegebene Wasserstoffabgas strömt durch die Zirkulationsleitung 403 zur Hauptstromleitung 401 zurück, so dass das Abgas der Brennstoffzelle 100 zur Wiederverwendung erneut zugeführt wird. Dabei wird die in

der Zirkulationsleitung 403 angeordnete Pumpe 410 angetrieben, um die Strömung des durch die Zirkulationsleitung 403 strömenden Wasserstoffabgases zur Zufuhr zur Hauptstromleitung 401 zu erzwingen oder zu induzieren. Auf diese Weise zirkuliert in einem normalen Betriebszustand des Brennstoffzellensystems Wasserstoffgas durch die Hauptstromleitung 401 und die Zirkulationsleitung 403.

[0040] Da aufgrund der Zirkulation Wasserstoffabgas in die Hauptstromleitung 401 zurückströmt, werden die 10 scheinbare Menge und Strömungsgeschwindigkeit des der Brennstoffzelle 100 zugeführten Wasserstoffgases erhöht, wenngleich in der Brennstoffzelle 100 dieselbe Wasserstoffmenge verwendet oder verbraucht wird. Diese Ausgestaltung ist im Hinblick auf die Wasserstoffversorgung der 15 Brennstoffzelle 100 von Vorteil und führt zu einer Erhöhung der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 100.

[0041] In der Brennstoffzelle 100 können Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, welche im Oxidationsgas enthalten sind, von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode sickern. Für den Fall, dass im Brennstoffzellensystem kein Wasserstoffgas zirkuliert, besteht demnach durchaus die Möglichkeit, dass sich an den Wasserstoffelektroden in einemstromabwärts gelegenen Teil der Brennstoffzelle 100 Verunreinigungen ansammeln. Die Ansammlungszone der Verunreinigungen an den Wasserstoffelektroden expandiert mit der Zeit, was zu einem Problem mit dem Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle 100 führen und schliesslich in einer 25 Verminderung der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 30 100 resultieren kann. In dieser Ausführungsform, in der das Wasserstoffgas wie vorstehend beschrieben zirkuliert, lassen sich die Verunreinigungen andererseits über die gesamte Länge der Wasserstoffgasleitung gleichmässig verteilen, wodurch das Brennstoffzellensystem nicht unter dem vorstehend beschriebenen, auf die Ansammlung von Verunreinigungen zurückzuführenden Problem leidet.

[0042] Die Steuerung 50 steuert den Betrieb der Pumpe 410 so, dass der Durchsatz oder die Geschwindigkeit des Wasserstoffgases durch die Zirkulationsleitung 403 in Abhängigkeit von der Verbrauchsmenge der durch die Brennstoffzelle 100 erzeugten elektrischen Energie variiert.

[0043] Das vom Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung abgegebene Wasserstoffgas hat einen sehr hohen Druck, der nicht grösser ist als 1 MPa. Wenn 45 das abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle 100 direkt zugeführt wird, kann die Brennstoffzelle 100 aufgrund des hohen Drucks des Wasserstoffgases beeinträchtigt werden. In Anbetracht dieses Problems wird das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Druckreduzierventil 404 betätigt, um den Wasserstoffgasdruck von 1 MPa auf einen der Brennstoffzelle 100 zuzuführenden geeigneten Pegel, d. h. auf einen Pegel im Bereich zwischen 0,2 MPa bis etwa 0,3 MPa, zu reduzieren. Somit wird der Brennstoffzelle 100 Wasserstoffgas mit einem geeignet reduzierten Druck zugeführt.

[0044] In der Brennstoffzelle 100 wird an der Wasserstoffelektrodenseite gemäss der durch die vorstehend angegebene Formel (2) ausgedrückten Reaktion Wasser ( $H_2O$ ) produziert. Wasser strömt in Form von Dampf von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode. Aus diesem Grund ist das von der Brennstoffzelle 100 abgegebene Wasserstoffabgas nass und enthält einen beträchtlich hohen Anteil an Feuchtigkeit. Wenn Wasserstoffabgas über die Pumpe 410 direkt zur 60 Hauptstromleitung 401 zurückströmt, verdampft die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit bzw. das im Wasserstoffabgas enthaltene Wasser nicht ausreichend. Im Ergebnis wird der Brennstoffzelle 100 ein Gemisch aus Was-

serstoffgas und Feuchtigkeit, d. h. ein Gas-Flüssigkeit-Gemisch, zugeführt. Die der Brennstoffzelle 100 zugeführte Feuchtigkeit kann sich an Wänden in den Einzelzellen des Brennstoffzellenstacks niederschlagen, was möglicherweise dazu führt, dass die Wasserstoffgaskanäle in der Brennstoffzelle 100 zumachen. Wenn die Wasserstoffgaskanäle aufgrund der im Wasserstoffgas enthaltenen Feuchtigkeit verstopfen oder schliessen und eine Wasserstoffgasströmung durch die Kanäle behindert oder unterbrochen wird, reduziert sich die Ausgangsspannung der Einzelzellen der Brennstoffzelle 100, was eine Abnahme der durch die Brennstoffzelle 100 erzeugten elektrischen Energie insgesamt zur Folge hat.

[0045] In Anbetracht dieses Problems hat der in der Zirkulationsleitung 403 angeordnete Gas-Flüssigkeit-Separator 406 die Funktion, die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zu trennen. Der Separator 406 entfernt dann die flüssige Komponente des Wasserstoffabgases und führt nur die gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zusammen mit anderen Gasen der Pumpe 410 zu. Durch den so vorgesehenen Gas-Flüssigkeit-Separator 406 wird der Brennstoffzelle 100 anstelle eines Gas-Flüssigkeit-Gemisches nur die gasförmige Komponente der im Wasserstoffgas enthaltenen Feuchtigkeit zugeführt. Die Bereitstellung des Separators 406 schliesst somit die Möglichkeit einer Beeinträchtigung des Energieerzeugungsbetriebs der Brennstoffzelle 100 aufgrund einer der Brennstoffzelle 100 zugeführten Feuchtigkeit aus.

[0046] Fig. 2 zeigt im Querschnitt ein Beispiel für einen Gas-Flüssigkeit-Separator, der im Brennstoffzellensystem von Fig. 1 verwendet werden könnte. Wasserstoffabgas, das einen hohen Feuchtigkeitsanteil enthält, wird durch einen Einlass 602 des Gas-Flüssigkeit-Separators in einen Zylinder 604 eingeleitet. Das durch den Einlass 602 eingeleitete Wasserstoffabgas fällt oder sinkt im Zuge einer wendelförmigen Drehbewegung entlang einer Innenwand des Zylinders 604 ab. Bei diesem Vorgang konzentriert sich die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit. Die flüssige Komponente der Feuchtigkeit schlägt sich im Besonderen in Form von Tröpfchen an der Innenwand des Zylinders 604 nieder; die Tröpfchen fallen entlang der Innenwand des Zylinders 604 ab und werden in einem Flüssigkeitsspeicher 608 gesammelt. Die gasförmige Komponente der Feuchtigkeit (d. h. der Wasserdampf) wird andererseits durch eine Gasleitung 610 zusammen mit anderen gasförmigen Komponenten im Wasserstoffabgas aus einem Auslass 606 abgegeben. Auf diese Weise kann die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit wie vorstehend beschrieben in die flüssige Komponente und die gasförmige Komponente getrennt werden.

[0047] Der Menge oder der Pegel des im Flüssigkeitsspeicher 608 gesammelten Wassers lässt sich durch einen (nicht gezeigten) Pegelsensor oder dergleichen erfassen. Wenn der Pegelsensor eine bestimmte Wassermenge, die sich im Flüssigkeitsspeicher 608 angesammelt hat, erfasst, wird ein (nicht gezeigter) Ablaufmechanismus zum automatischen Öffnen eines Absperrorgans 612 betätigt, um dadurch das gesammelte Wasser über das Absperrorgan 612 abzugeben.

[0048] Wie vorstehend diskutiert zirkuliert im Wasserstoffgasströmungssystem Wasserstoffgas, so dass sich die im Wasserstoffgas enthaltenen Verunreinigungen über die gesamte Länge des Zirkulationswegs gleichmäßig verteilen. Selbst mit dem auf diese Weise homogenisierten Wasserstoffgas erfährt die Brennstoffzelle 100 aber eine ständige Leckage von Verunreinigungen von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode, so dass die Konzentration von Verunreinigungen im Wasserstoffgas über einen langen Anwendungszeitraum betrachtet nach und nach zunimmt. Im Ergebnis nimmt die Wasserstoffkonzentration im Wasserstoffgas mit der Zeit nach und nach ab, was sich für den Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle 100 nachteilig auswirken könnte.

[0049] In Anbetracht dieses Problems ist in der Ablaufleitung 407, die von der Zirkulationsleitung 403 abweigt, das Absperrventil 414 vorgesehen. Das Absperrventil 414 wird regelmäßig geöffnet, um zirkulierendes Wasserstoffgas, das Verunreinigungen enthält, abzugeben. Das abgegebene Wasserstoffgas, das Verunreinigungen enthält, wird durch reines Wasserstoffgas ersetzt, das aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung neu zugeführt wird. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, die Konzentration der Verunreinigungen im zirkulierenden Wasserstoffgas zu senken und zugleich die Konzentration des Wasserstoffs im Wasserstoffgas zu erhöhen, wodurch die Brennstoffzelle 100 ihren Energieerzeugungsbetrieb angemessen ausführen kann.

[0050] Wie vorstehend beschrieben erfährt die Brennstoffzelle 100 auch eine Leckage von Wasserdampf von der Seite der Sauerstoffelektroden durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode. Der Wasserdampf kann sich je nach Betriebstemperatur der Brennstoffzelle 100 konzentrieren und an den Wänden der Einzelzellen niederschlagen; die sich daraus ergebende Feuchtigkeit oder das sich daraus ergebende Wasser kann die Wasserstoffgasströmung durch die Einzelzellen behindern oder unterbrechen.

[0051] Wenn das Absperrventil 414 geöffnet wird, um in dieser Situation Wasserstoffgas abzugeben, findet aufgrund der Differenz zwischen dem Druck im Wasserstoffgasströmungssystem und dem Atmosphärendruck eine rasche Wasserstoffgasströmung statt, wodurch sich die an den Einzelzellen niedergeschlagene Feuchtigkeit unter Ausnutzung des Wasserstoffgasstroms ausblasen lässt.

[0052] Das Öffnen des Absperrventils 414 während des Energieerzeugungsbetriebs der Brennstoffzelle 100 verursacht zwar einen vorübergehenden oder momentanen Abfall der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 100, führt jedoch nicht zu einer signifikanten Verminderung der Ausgangsspannung. Das Absperrventil 414 wird vorzugsweise für eine Sekunde oder kürzer, insbesondere für etwa 500 ms, offen gehalten.

[0053] Das vom Absperrventil 414 abgegebene Wasserstoffgas wird über die Ablaufleitung 407 der Sauerstoffabgasablaufleitung 503 zugeführt und anschließend mit dem durch die Sauerstoffabgasablaufleitung 503 strömenden Sauerstoffabgas gemischt. Das Gemisch aus dem abgegebenen Wasserstoffgas und dem Sauerstoffabgas wird durch den Gas-Flüssigkeit-Separator 508 dem Brenner 510 zugeführt. Der Brenner 510 enthält einen Platinkatalysator 512. Im Brenner 510 wird durch Verbrennung eine Reaktion des im Mischgas enthaltenen Wasserstoffs und Sauerstoffs herbeigeführt, so dass der Wasserstoffanteil im Mischgas weiter reduziert wird. Das vom Brenner 510 abgegebene Mischgas wird anschließend an die Atmosphäre abgegeben oder freigesetzt.

[0054] Während vorstehend die Wasserstoffgasströmung während eines normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben wurde, wird nun die Wasserstoffgasströmung während eines Niedertemperaturbetriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben.

[0055] Im Allgemeinen steigt der Druck, bei dem die Wasserstoffgas absorbierende Legierung Wasserstoff abgibt, mit einer Zunahme der Temperatur der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung an und nimmt mit einem Abnehmen der Temperatur der Wasserstoffgas absorbierenden

Legierung ab. Mit einer Abnahme der Temperatur des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung wird es somit weniger wahrscheinlich, dass Wasserstoff abgegeben wird. Um eine Abgabe von Wasserstoff aus dem Behälter mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung während eines Niedertemperaturinbetriebnahmzustands der Brennstoffzelle 100 zu erleichtern bzw. zu ermöglichen, ist es daher erforderlich, dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung durch einen Erhitzer oder dergleichen rasch Wärme zuzuführen. Die Verwendung des Erhitzers zum Erhitzen des Behälters mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung erfordert jedoch viel elektrische Energie und ist daher nicht erwünscht oder nicht angebracht, wenn das Brennstoffzellensystem in ein Kraftfahrzeug einzubauen ist.

[0055] Vor diesem Hintergrund zieht das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform die Pumpe 410 dazu heran, Wasserstoff aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung anzusaugen, anstatt dem Behälter mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung durch einen Erhitzer Wärme zuzuführen.

[0056] Fig. 3 zeigt ein Ablaufschema, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine veranschaulicht, die die Steuerung 50 bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems von Fig. 1 ausführt.

[0057] Bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems führt die Steuerung 50 den in Fig. 3 gezeigten Schritt S102 aus, um das Absperrventil 202 des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung und die Absperrventile 102 und 104 der Brennstoffzelle 100 zu öffnen. Dann führt die Steuerung den Schritt S104 aus, um den durch den Drucksensor 400 erfassten Druckpegel des Wasserstoffgases zu lesen. Anschließend führt die Steuerung 50 den Schritt S106 aus, um zu bestimmen, ob der erfasste, Druckpegel des Wasserstoffgases einen bestimmten Referenzdruck überschreitet.

[0058] Wenn die Umgebungstemperatur genügend hoch ist und der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoff bei einem genügend hohen Druck abgibt, der größer ist als der vorgegebene Referenzdruck, führt die Steuerung mit den Schritt S114 fort, um das Brennstoffzellensystem wie vorstehend beschrieben in den normalen Betriebszustand zu schalten. Im Schritt S114 werden das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Absperrventil 402 und das in der Zirkulationsleitung 403 angeordnete Absperrventil 408 geöffnet, während das in der Überbrückungsleitung 405 angeordnete Absperrventil 412 und das in der Ablaufleitung 407 angeordnete Absperrventil 414 geschlossen werden. Die Steuerung 50 fährt dann mit dem Schritt S116 fort, um die Pumpe 410 bei normaler Geschwindigkeit anzutreiben, wodurch wie vorstehend beschrieben eine Zirkulation von Wasserstoffgas herbeigeführt wird.

[0059] Ist die Umgebungstemperatur andererseits vergleichsweise niedrig, ist es wenig wahrscheinlich, dass der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoff abgibt; der Druck des abgegebenen Wasserstoffs ist damit niedriger als der vorgegebene Referenzdruck. In diesem Fall führt die Steuerung mit dem Schritt S108 fort, um das Brennstoffzellensystem in den Niedertemperaturinbetriebnahmzustand zu schalten. Im Schritt S108 werden das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Absperrventil 402, das in der Zirkulationsleitung 403 angeordnete Absperrventil 408 und das in der Ablaufleitung 407 angeordnete Absperrventil 414 geschlossen, während das in der Überbrückungsleitung 405 angeordnete Absperrventil 412 geöffnet wird. Die Steuerung 50 führt dann mit dem Schritt S110 fort, um die Pumpe 410 mit ho-

her Geschwindigkeit anzutreiben, so dass selbst in dem Fall, in dem die Temperatur des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung relativ niedrig ist und das Wasserstoffgas mit einem relativ niedrigen Druck abgegeben wird, eine ausreichende Menge des in der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung absorbierten Wasserstoffgases aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angesaugt werden kann. Das aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden

10 Legierung angesaugte Wasserstoffgas wird zunächst in die Hauptstromleitung 401 eingeleitet; anschließend strömt es durch die Überbrückungsleitung 405 und die Zirkulationsleitung 403 in dieser Reihenfolge. Das Wasserstoffgas strömt dann zurück in die Hauptstromleitung 401 und wird schließlich der Brennstoffzelle 100 zugeführt. Das der Brennstoffzelle 100 zugeführte Wasserstoffgas wird der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle 100 unterzogen. Das daraus resultierende Wasserstoffabgas wird anschließend in die Zirkulationsleitung 403 abgegeben. Da die Konzentration von Verunreinigungen im Wasserstoffabgas mit der Zeit zunimmt, wird das Absperrventil 414 regelmäßig geöffnet, um Wasserstoffabgas durch die Ablaufleitung 407 abzugeben.

[0060] Die Steuerung 50 hält das Brennstoffzellensystem

25 so lange in dem vorstehend beschriebenen Niedertemperaturinbetriebnahmzustand, bis im Schritt S112 bestimmt wird, dass der Druck des vom Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung abgegebene Wasserstoffgas über dem vorgegebenen Referenzdruck liegt.

30 Nach alledem arbeitet der (nicht gezeigte) Wärmetauscher im Anschluss an die Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems schließlich zufriedenstellend, so dass der im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltenen Wasserstoffgas absorbierenden Legierung

35 Wärme zugeführt wird. Im Ergebnis steigt die Temperatur der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung an und der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung wird in die Lage versetzt, Wasserstoffgas mit einer ausreichend hohen Temperatur abzugeben. Folglich überschreitet

40 der Wasserstoffgasdruck den Referenzdruckpegel, und die Steuerung 50 fährt mit der Schritt S114 fort, um das Brennstoffzellensystem in den normalen Betriebszustand zu schalten. Im Schritt S114 werden das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Absperrventil 402 und das der Zirkulationsleitung 103 angeordnete Absperrventil 408 geöffnet und das in der Überbrückungsleitung 405 angeordnete Absperrventil 412 und das in der Ablaufleitung 407 angeordnete Absperrventil 414 geschlossen. Anschließend fährt die Steuerung 50 mit dem Schritt S116 fort, um die Pumpe 410 mit normaler Geschwindigkeit anzutreiben.

[0061] Im Niedertemperaturinbetriebnahmzustand nutzt das Brennstoffzellensystem die Pumpe 410 zum Ansaugen des im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung gespeicherten Wasserstoffs, ohne dabei viel elektrische Energie zu benötigen.

[0062] Im Brennstoffzellensystem der vorliegenden Ausführungsform wird die Pumpe 410 während eines normalen Betriebszustands zum Zweck der Zirkulation des Wasserstoffgases und während eines Niedertemperaturinbetriebnahmzustands zum Zweck der Ansaugung von Wasserstoffgas aus dem Wasserstoffgas absorbierenden Legierungsbehälter 200 verwendet. Der gemeinsame Einsatz der Pumpe 410 resultiert somit in einem reduzierten Einbauvolumen und einem reduzierten Systemgewicht.

[0063] In der vorliegenden Ausführungsform kann die Pumpe 410 je nachdem, ob sie zum Zweck der Zirkulation des Wasserstoffgases oder zum Zweck der Ansaugung von Wasserstoffgas aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoff-

gas absorbierenden Legierung in Betrieb geht, ihre Drehzahl ändern, um den Wasserstoffgasdurchsatz zu verändern. Die Pumpe 410 benötigt nämlich relativ wenig Energie für die Zirkulation des Wasserstoffgases im Wasserstoffgasströmungssystem, da das Kompressionsverhältnis der Pumpe 410 (d. h. das Verhältnis des Abgabedrucks zum Saugdruck der Pumpe 410) relativ niedrig ist. Andererseits benötigt die Pumpe 410 relativ viel Energie zum Ansaugen des Wasserstoffgases aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, da das Kompressionsverhältnis der Pumpe 410 relativ hoch ist.

[0064] Während vorstehend die Wasserstoffgasströmung während eines Niedertemperaturinbetriebnahmebetriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben wurde, wird nun der Stillstand des Brennstoffzellensystems beschrieben.

[0065] In der Brennstoffzelle 100 sickern wie vorstehend beschrieben Verunreinigungen, wie z. B. Wasserdampf und Stickstoff, von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode. Dementsprechend enthält das während eines normalen Betriebszustands zirkulierende Wasserstoffgas eine bestimmte Menge an Verunreinigungen. Wird der Betrieb des Brennstoffzellensystems anschließend beendet, wird dementsprechend der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angehalten, so dass die Temperatur im Behälter 200 sinkt. In diesem Zustand kann der Druck im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung in Abhängigkeit von der Temperatur des Behälters 200 auch auf einen negativen Pegel abnehmen. In diesem Fall strömt Wasserstoffgas aus der Hauptstromleitung 401 oder der Überbrückungsleitung 405 in die entgegengesetzte Richtung zum Auslass des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung. Wenn normale Absperrventile für das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Absperrventil 402 und das in der Überbrückungsleitung 405 angeordnete Absperrventil 412 verwendet werden, kann eine derartige entgegengesetzte Wasserstoffgasströmung in Richtung zum Auslass des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung nicht vollständig verhindert werden. Im Ergebnis erfolgt eine Leckage von Wasserstoffgas, das in den Bereichen des Wasserstoffgasströmungssystems zurückgeblieben ist, die näher an der Brennstoffzelle 100 liegen als an den Absperrventilen 402, 412, durch die Absperrventile 402, 412 in den Abschnitt des Wasserstoffgasströmungssystems, der näher am Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung liegt, wobei das durchsickernde Wasserstoffgas anschließend in den Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung strömt. Da das in den Behälter 200 strömende Wasserstoffgas Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff und Wasserdampf, enthält, werden die Verunreinigungen ebenfalls in den Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung eingeführt. In diesem Fall beeinträchtigen die Verunreinigungen möglicherweise die im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltene Wasserstoffgas absorbierende Legierung.

[0066] In Anbetracht dieses Problems haben die in dieser Ausführungsform verwendeten Absperrventile 402, 412 die Funktion, eine entgegengesetzte Wasserstoffgasströmung zu verhindern oder zu blockieren. Unter Verwendung der Absperrventile, die Funktion haben, eine entgegengesetzte Strömung zu verhindern, wird selbst dann, wenn bei einer Beendigung des Betriebs des Brennstoffzellensystems eine entgegengesetzte Wasserstoffgasströmung in Richtung zum Behälter 200 stattfindet, verhindert oder unterbunden, dass Wasserstoffgas, das Verunreinigungen enthält, durch die Absperrventile 402, 412 in die Wasserstoffgasleitung auf

Seiten des Behälters 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung sickert. Somit kann die Wasserstoffgas absorbierende Legierung im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung geschützt werden.

- 5 [0067] Während vorstehend der Zustand des Brennstoffzellensystems bei einer Beendigung des Betriebs des Systems beschrieben wurde, wird nachstehend der Betrieb des Brennstoffzellensystems beschrieben, wenn es sich in einem nicht normalen Zustand befindet.
- 10 [0068] Im Falle einer Abnormität, wie z. B. im Fall eines Defekts im Druckreduzierventil 404, Brennstoffzellensystem steigt der Druck des der Brennstoffzelle 100 zugeführten Wasserstoffgases auf einen übermäßig hohen Pegel an, was der Brennstoffzelle 100 ein Problem bereiten könnte. In Anbetracht dieses Problems ist die vorliegende Ausführungsform mit dem Entlastungsventil 416 versehen, das in der Entlastungsleitung 409 angeordnet ist, die von der Hauptstromleitung 401 abweigt. Das Entlastungsventil 416 wird geöffnet, um eine bestimmte Menge Wasserstoffgas an die Atmosphäre ausserhalb des Fahrzeugs abzugeben, wenn der Wasserstoffgasdruck, der in dem zwischen dem Druckreduzierventil 404 und der Brennstoffzelle 100 liegenden Abschnitt der Hauptstromleitung 401 gemessen wird, derart ansteigt, dass er gleich oder größer ist als ein vorgegebener Pegel. Ein Auslass des Entlastungsventils 416 ist vorzugsweise an einer Stelle vorgesehen, die ermöglicht, dass das Wasserstoffgas in Richtung zur Fahrbahn abgegeben wird, so dass das auf diese Weise abgegebene Wasserstoffgas nicht an einer bestimmten Stelle verbleibt. Mit dem so angeordneten Entlastungsventil 416 ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass sich der abgegebene Wasserstoff in der Atmosphäre ausbreitet.
- 15 [0069] Bei einer Kollision des Fahrzeugs mit einem anderen Fahrzeug oder Gegenstand oder einer Fehlfunktion eines Steuerungssystems kann das Brennstoffzellensystem im schlimmsten Fall eine Leckage von Wasserstoffgas erleiden. Im Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform geht die Steuerung 50 für den Fall, dass beispielsweise durch eine Kollision des Fahrzeugs oder eine Fehlfunktion des Steuerungssystems hervorgerufene Vibrationen erfasst werden, in Betrieb, um das im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angeordnete Absperrventil 202 und die in der Brennstoffzelle 100 angeordneten Absperrventile 102, 104 automatisch zu schließen. In diesem Zustand ist die Wasserstoffgasversorgung unterbrochen, wodurch eine Leckage von Wasserstoffgas aus dem Brennstoffzellensystem verhindert wird.

#### Zweite Ausführungsform

- 50 [0070] Fig. 4 zeigt schematisch den Aufbau eines On-board-Brennstoffzellensystems gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Während im Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung als Wasserstoffgasversorgung zum Einsatz kommt, findet im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform ein Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 Verwendung als Wasserstoffgasversorgung.
- 60 [0071] Der Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 ist mit einem Hochdruckwasserstoffgas gefüllt; am Boden des Behälters 300 ist ein Absperrventil 302 angebracht. Das Absperrventil 302 wird geöffnet, um Wasserstoffgas mit einem Druck von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa abzugeben.
- 65 [0072] Die Brennstoffzelle 100 des Brennstoffzellensystems der zweiten Ausführungsform ist in der Ausgestaltung identisch mit der Brennstoffzelle 100 der ersten Ausführungsform; daher erfolgt keine Erläuterung der Brennstoff-

zelle 100.

[0073] Wie es in Fig. 4 gezeigt ist, weist das Brennstoffzellensystem der vorliegenden Ausführungsform eine Wasserstoffgasleitung, eine Sauerstoffgasleitung und die Steuerung 50 auf. Da die Sauerstoffgasleitung identisch ist mit der Sauerstoffgasleitung des Brennstoffzellensystems gemäß der ersten Ausführungsform, erfolgt keine redundante Beschreibung der Sauerstoffgasleitung.

[0074] Das Wasserstoffgasströmungssystem des Brennstoffzellensystems der zweiten Ausführungsform umfasst eine Hauptstromleitung 401, die sich von einem Auslass des Hochdruckwasserstoffgasbehälters 300 zum Einlass der Brennstoffzelle 100 erstreckt, eine Zirkulationsleitung 403, durch welche Wasserstoffgas vom Auslass der Brennstoffzelle 100 über eine Pumpe 410 zur Hauptstromleitung 401 zurückströmt, eine Ablaufleitung 407 zum Abgeben von Verunreinigungen, die im zirkulierenden Wasserstoffgas enthalten sind, und eine Entlastungsleitung 409 zum Abgeben von Wasserstoffgas, wenn der Wasserstoffgasdruck im Brennstoffzellensystem übermäßig hoch ist. In dieser Ausführungsform, in der der Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 als Wasserstoffgasversorgung verwendet wird, kann vom Behälter 300 ungeachtet seiner Betriebstemperatur ein Hochdruckwasserstoffgas abgegeben werden. Da es somit nicht notwendig ist, bei einer Niedertemperaturinbetriebnahme des Systems wie im Fall des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoffgas anzusaugen, weist das Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform keine Überbrückungsleitung 405 auf, wie sie in der ersten Ausführungsform vorgesehen ist.

[0075] Wie es in Fig. 4 gezeigt ist, ist am Auslass des Hochdruckwasserstoffgasbehälters 300 ein Absperrventil 302 angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Hauptstromleitung 401 sind ein Druckreduzierventil 418, ein Wärmetauscher 420, ein Druckreduzierventil 422 und ein Gas-Flüssigkeit-Separator 424 angeordnet. Des Weiteren ist am Einlass der Brennstoffzelle 100 ein Absperrventil 102 angeordnet. Außerdem ist am Auslass der Brennstoffzelle 100 ein Absperrventil 104 angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Zirkulationsleitung 403 sind ein Gas-Flüssigkeit-Separator 406, eine Pumpe 410 und ein Rückschlagventil 426 angeordnet. Wie in der ersten Ausführungsform ist in der Ablaufleitung 407 ein Absperrventil 414 und in der Entlastungsleitung 409 ein Entlastungsventil 416 angeordnet.

[0076] Die Steuerung 50 erhält von einem Drucksensor 400 ein (den Wasserstoffgasdruck in der Hauptstromleitung 401 repräsentierendes) Signal und steuert den Betrieb der Ventile 102, 104, 302, 414, der Pumpe 410 und eines in einer Oxidationsgasversorgungsleitung 501 angeordneten Kompressors 504. Fig. 4 zeigt nicht die Steuerleitungen oder dergleichen, welche die Verbindung zwischen der Steuerung 50 und den jeweiligen Komponenten des Brennstoffzellensystems angeben.

[0077] Zunächst wird die Wasserstoffgasströmung ausführlich beschrieben. Da die Oxidationsgasströmung identisch ist mit derjenigen in der ersten Ausführungsform, erfolgt keine Erläuterung der Oxidationsgasströmung.

[0078] Im Rahmen des Steuerungsbetriebs der Steuerung 50 sind während des Betriebs des Brennstoffzellensystems das Absperrventil 302 für den Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 und die Absperrventile 102, 104, für die Brennstoffzelle 100 grundsätzlich geöffnet, sie werden geschlossen, wenn der Betrieb des Brennstoffzellensystems beendet wird.

[0079] Wenn sich das Brennstoffzellensystem in einem normalen Betriebszustand befindet, ist das Absperrventil 414 der Ablaufleitung 407 geschlossen, während die Absperrventile 302, 102, 104 geöffnet sind. Wie im Fall der er-

sten Ausführungsform wird das Entlastungsventil 416 normalerweise in der geschlossenen Stellung gehalten, es sei denn, der Wasserstoffgasdruck wird übermäßig hoch.

[0080] Während eines normalen Betriebs des Brennstoffzellensystems hält die Steuerung 50 das Absperrventil 302 wie vorstehend beschrieben in der offenen Stellung, so dass Wasserstoffgas vom Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 abgegeben wird. Das abgegebene Wasserstoffgas wird durch die Hauptstromleitung 401 der Brennstoffzelle 100 zugeführt. Das der Brennstoffzelle 100 so zugeführte Wasserstoffgas wird der vorstehend angegebenen elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle 100 unterzogen; das daraus entstehende Wasserstoffabgas wird anschließend von der Brennstoffzelle 100 abgegeben. Das abgegebene Wasserstoffabgas strömt durch die Zirkulationsleitung 403 zur Hauptstromleitung 401 zurück und wird der Brennstoffzelle 100 erneut zugeführt. Wie in der ersten Ausführungsform wird die in der Zirkulationsleitung 403 angeordnete Pumpe 410 angetrieben oder betätigt, um Wasserstoffabgas zur Hauptstromleitung 401 unter Zwang zuzuführen. Wenn sich das Brennstoffzellensystem im normalen Betriebszustand befindet, zirkuliert im Besonderen Wasserstoffgas durch die Hauptstromleitung 401 und Zirkulationsleitung 403. In einem zwischen der Pumpe 410 und der Verbindungsstelle der Zirkulationsleitung 403 und der Hauptstromleitung 401 liegenden Abschnitt der Zirkulationsleitung 403 ist ein Rückschlagventil 426 angeordnet, das die Funktion hat, eine entgegengesetzte Strömung des zirkulierenden Wasserstoffgases zu verhindern.

[0081] Das vom Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 abgegebene Wasserstoffgas hat wie vorstehend beschrieben einen Druck im Bereich von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa. Dieser Druckpegel ist weitaus höher als der des aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung 304 in der ersten Ausführungsform abgegebenen Wasserstoffgases. Wenn das abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle 100 direkt zugeführt wird, wird die Brennstoffzelle 100 aufgrund des hohen Drucks des Wasserstoffgases dementsprechend beschädigt. In der zweiten Ausführungsform sind daher an ausgewählten Stellen in der Hauptstromleitung 401 zwei Druckreduzierventile, d. h. ein erstes Druckreduzierventil 418 und ein zweites Druckreduzierventil 422, angeordnet. In der vorliegenden Ausführungsform wird der Druck des Hochdruckwasserstoffgases an den beiden Druckreduzierventilen 418, 422 nämlich in zwei Stufen reduziert, während in der ersten Ausführungsform der Wasserstoffgasdruck nur einmal reduziert wird. Das erste Druckreduzierventil 418 reduziert den Druck des abgegebenen Wasserstoffgases im Besonderen von einem Pegel im Bereich von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa auf einen Pegel im Bereich von etwa 0,8 MPa bis etwa 1 MPa. Anschließend reduziert das zweite Druckreduzierventil 422 den Druck des abgegebenen Wasserstoffgases von einem Pegel im Bereich von etwa 0,8 MPa bis etwa 1 MPa auf einen Pegel im Bereich von etwa 0,2 MPa bis etwa 0,3 MPa.

[0082] Wenn der Druck des Hochdruckwasserstoffgases durch das erste Druckreduzierventil 418 von einem Pegel von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa auf den Pegel von etwa 0,8 MPa bis etwa 1 MPa reduziert wird, dehnt sich das Wasserstoffgas rasch auf etwa das 50fache aus (d. h. das Volumen des Wasserstoffgases nimmt rasch zu), wobei die Temperatur des Wasserstoffgases rasch abnimmt. Wenn das Wasserstoffgas mit der niedrigeren Temperatur der Brennstoffzelle 100 direkt zugeführt wird, sinkt auch die Temperatur innerhalb der Brennstoffzelle 100, was in einer ungenügenden katalytischen Aktivität resultiert. In diesem Zustand ist die elektrochemische Reaktion in der Brennstoffzelle 100 ineffizient, was eine Beeinträchtigung des Ener-

gieerzeugungsbetriebs der Brennstoffzelle 100 zur Folge hat. In Anbetracht dieses Problems ist zwischen dem ersten und zweiten Druckreduzierventil 418, 422 ein Wärmetauscher 420 angeordnet. Der Wärmetauscher 420 hat die Funktion, Wasserstoffgas, dessen Temperatur aufgrund einer Ausdehnung rasch abgenommen hat, zu erhitzen, um dadurch die Brennstoffzelle 100 Wasserstoffgas mit einer ausreichend hohen Temperatur zu versorgen. Der Wärmetauscher 420 wird mit Kühlwasser, welches durch die Brennstoffzelle 100 erhitzt wird, versorgt, was aus Fig. 4 nicht ersichtlich ist, so dass zwischen dem erwärmten Kühlwasser und dem abgekühlten Wasserstoffgas im Wärmetauscher 420 ein Wärmeaustausch stattfindet. Wasserstoffgas, dessen Temperatur abgesenkt wurde, passiert auf diese Weise den Wärmetauscher 420, so dass der Brennstoffzelle 100 Wasserstoffgas zugeführt werden kann, dessen Temperatur auf einen ausreichend hohen Pegel angehoben wurde. Die Temperatur in der Brennstoffzelle 100 wird folglich auf einen Pegel angehoben, der ausreichend hoch ist, um die vorstehend erwähnte elektrochemische Reaktionen zu fördern, wodurch ein angemessener Energieerzeugungsbetrieb des Brennstoffzellensystems ermöglicht wird.

[0083] Wie aus der vorstehenden Beschreibung hervorgeht, hat das durch die Hauptstromleitung 401 strömende Wasserstoffgas eine relativ niedrige Temperatur. Wenn das Wasserstoffgas mit der relativ niedrigen Temperatur mit dem durch die Zirkulationsleitung 403 zur Hauptstromleitung 401 zurückströmenden Wasserstoffabgas gemischt wird, ist es wahrscheinlich, dass sich die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit konzentriert, was zu der Möglichkeit führt, dass der Brennstoffzelle 100 Wasserstoffgas in Form eines Gas-Flüssigkeit-Gemisches zugeführt wird. Um diese Möglichkeit auszuschließen, ist die vorliegende Ausführungsform mit einem Gas-Flüssigkeit-Separator 424 versehen, der in einem zwischen dem Einlass der Brennstoffzelle 100 und der Verbindungsstelle der Hauptstromleitung 401 mit der Zirkulationsleitung 403 liegenden Abschnitt der Hauptstromleitung 401 angeordnet ist. Der Gas-Flüssigkeit-Separator 424 hat die Funktion, die im gemischten Wasserstoffgas enthaltene Feuchtigkeit in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zu trennen.

[0084] Der Gas-Flüssigkeit-Separator 424 entfernt die flüssige Komponente der Feuchtigkeit und führt der Brennstoffzelle 100 nur die gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zusammen mit anderen Gaskomponenten im Wasserstoffgas zu. Mit dieser Ausgestaltung ist die Möglichkeit eines Ausfalls oder Problems im Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle 100 aufgrund der flüssigen Komponente der im Wasserstoffgas enthaltenen Feuchtigkeit nicht gegeben.

[0085] Während vorstehend die Strömung des Wasserstoffgases während des normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben wurde, wird nun die Wasserstoffgasströmung während einer Inbetriebnahme Betriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben.

[0086] Wenn der Betrieb des Brennstoffzellensystems beendet wird, dringen Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolyschicht innerhalb der Brennstoffzelle 100 zur Seite der Wasserstoffelektrode durch und breiten sich an der Seite der Wasserstoffelektrode der Brennstoffzelle 100 aus. Folglich sind die Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, nicht nur in den Oxidationsgaskanälen sondern auch in den Wasserstoffgaskanälen in der Brennstoffzelle 100 enthalten. Bei der Inbetriebnahme Brennstoffzellensystems ist es daher notwendig, die Brennstoffzelle 100 dadurch, dass die Verunreinigungen aus den Wasserstoffgaskanälen entfernt und diese

Kanäle mit Wasserstoffgas gefüllt werden, in die Lage zu versetzen, innerhalb eines kurzen Zeitraums einen angemessenen Energieerzeugungsbetrieb auszuführen.

[0087] Die in den Wasserstoffgaskanälen existierenden Verunreinigungen lassen sich bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems durch beispielsweise Einströmenlassen eines Spülgases, z. B. eines Inertgases, in die Wasserstoffgaskanäle entfernen, wodurch die Verunreinigungen aus den Kanälen verdrängt werden. Jedoch erfordert dieses Verfahren zur Beseitigung der Verunreinigungen den Einbau eines Inertgasbehälters am Fahrzeug zum Bereitstellen des Spülgases, was in einer unerwünschten Zunahme des erforderlichen Raums und des Gewichts des Brennstoffzellensystems resultiert.

[0088] In Anbetracht dieses Problems kann auch in Erwägung gezogen werden, Wasserstoffgas direkt in die Wasserstoffgaskanäle einzuleiten, um die Verunreinigungen aus den Kanälen zu verdrängen. Bei diesem Verfahren dauert es jedoch lange, bis das Wasserstoffgas die Verunreinigungen aus den Wasserstoffgaskanälen verdrängt hat und die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle einen gewünschten Pegel erreicht. Wenn das aus der Brennstoffzelle abgegebene Wasserstoffgas für einen derart langen Zeitraum zur Beseitigung der Verunreinigungen abgesondert oder an die Atmosphäre abgegeben wird, kann das an die Atmosphäre abgegebene Gas eine hohe Konzentration von Wasserstoff enthalten, was zu einem umweltechnischen Problem führen kann.

[0089] In Anbetracht der vorstehend beschriebenen Situation wird bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems der vorliegenden Ausführungsform das Wasserstoffgas wie vorstehend beschrieben in die Wasserstoffgaskanäle eingeleitet und die Pumpe 410 zum Zweck einer Zirkulation des Wasserstoffgases angetrieben oder betätigt, um eine erzwungene Wasserstoffgasströmung im Wasserstoffgasströmungssystem zu bewirken. Somit werden die in den Wasserstoffgaskanälen in der Brennstoffzelle 100 vorhandenen Verunreinigungen mit dem in die Kanäle strömenden Wasserstoffgas gleichmäßig gemischt.

[0090] Fig. 5 zeigt das Ablaufschema, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine veranschaulicht, die die Steuerung 50 bei Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems der vorliegenden Ausführungsform ausführt.

[0091] Bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems führt die Steuerung 50 den in Fig. 5 gezeigten Schritt S202 aus, um das Absperrventil 302 des Hochdruckwasserstoffgasbehälters 300 und die Absperrventile 102 und 104 des Brennstoffzellensystems 100 zu öffnen, wobei die Ventile 302, 102, 104 geschlossen waren. In diesem Zustand wird vom Hochdruckwasserstoffgasbehälter Wasserstoffgas freigegeben. Das abgegebene Wasserstoffgas wird daraufhin der Hauptstromleitung 401 zugeführt. Anschließend führt die Steuerung 50 mit dem Schritt S204 fort, um die Pumpe 410 mit ihrer normalen Geschwindigkeit anzu treiben, um dadurch eine erzwungene Wasserstoffgasströmung durch die Zirkulationsleitung 403 zu bewirken. Diese erzwungene Wasserstoffgasströmung dient dazu, die in den Wasserstoffgaskanälen der Brennstoffzelle 100 vorhandenen Verunreinigungen in Bewegung zu setzen, und die Verunreinigungen und das Wasserstoffgas zirkulieren zu lassen, um sie innerhalb einer kurzen Zeitspanne homogen miteinander zu vermischen.

[0092] Wenn die in den Wasserstoffgaskanälen vorhandenen Verunreinigungen beispielsweise Atmosphärendruck (0,1 MPa) aufweisen, wird Wasserstoffgas, dessen Druck auf 2 atm (0,2 MPa) reduziert wurde, dazu veranlasst, durch die Wasserstoffgaskanäle zu strömen. Bei den auf diese Weise gesteuerten Drücken enthält das aus der Brennstoff

zelle 100 abgegebene resultierende Gas etwa 50% Verunreinigungen und etwa 50% Wasserstoffgas. Das somit abgegebene Gas zirkuliert durch das Wasserstoffgasströmungssystem, wobei es aufgewirbelt wird, so dass die Verunreinigungen gleichmäßig im Wasserstoffgas verteilt werden.

[0093] Mit den Verunreinigungen und dem Wasserstoffgas, die in der vorstehend beschriebenen Art und Weise homogenisiert wurden, wird den Wasserstoffelektroden in der Brennstoffzelle 100 jeweils die gleiche Menge Wasserstoff zugeführt, wodurch sich die offene Spannung der Brennstoffzelle 100 unmittelbar auf einen vorgegebenen Pegel anheben lässt. Die Steuerung 50 fährt dann mit dem Schritt S206 fort, um den Anstieg der offenen Spannung der Brennstoffzelle 100 basierend auf einem Ausgangssignal, das von einem (nicht gezeigten) Spannungssensor erhalten wird, zu erfassen. Wenn die Steuerung 50 den Anstieg der offenen Spannung erfasst, wird bestimmt, dass die Brennstoffzelle 100 zur Energieerzeugung bereit ist, und im Schritt S208 wird eine (nicht gezeigte) Last an die Brennstoffzelle 100 angelegt. Anschließend fährt die Steuerung 50 mit dem Schritt S210 fort, um das Absperrenventil 414 zu öffnen, um dadurch das zirkulierende Wasserstoffgas (d. h. das homogene Gemisch aus Verunreinigungen und Wasserstoffgas) nach und nach abzugeben. Da das Wasserstoffgas aus dem Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 der Hauptstromleitung 401 kontinuierlich zugeführt wird, nimmt die Wasserstoffkonzentration des zirkulierenden Wasserstoffgases nach und nach zu.

[0094] Wenn die Steuerung 50 im Schritt S212 bestimmt, dass eine vorgegebene Zeit nach dem Öffnen des Absperrenventil 414 vergangen ist, wird das Absperrenventil 414 im Schritt S214 in der Annahme, dass die in den Wasserstoffgaskanälen vorhandenen Verunreinigungen bis zu einem gewissen Grad beseitigt wurden und die Wasserstoffkonzentration des zirkulierenden Wasserstoffgases auf einen ausreichend hohen Pegel angestiegen ist, geschlossen. Anschließend wird das Brennstoffzellensystem in den normalen Betriebszustand geschaltet.

[0095] Bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems der vorliegenden Ausführungsform wird Wasserstoffgas in die Wasserstoffgaskanäle der Brennstoffzelle 100 eingeleitet und die Pumpe 410 angetrieben, um das Wasserstoffgas wie vorstehend beschrieben in Zwangszirkulation zu versetzen, wodurch ermöglicht wird, dass die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle innerhalb eines kurzen Zeitraums auf den gewünschten Pegel angehoben wird. Das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform erfordert des weiteren kein Spülgas, wodurch auch kein Bedarf nach einem Gasbehälter zum Bereitstellen von Spülgas besteht, was in einer Verminderung des erforderlichen Volumens und Gewichts des Brennstoffzellensystems resultiert. Das Brennstoffzellensystem der vorliegenden Ausführungsform gibt ferner kein Wasserstoffgas mit einer hohen Wasserstoffgaskonzentration frei, womit ein hoher Grad an Sicherheit gewährleistet ist.

[0096] Das in der Ablaufleitung 407 angeordnete Absperrenventil 414 und das in der Entlastungsleitung 409 angeordnete Entlastungsventil 416 sind identisch mit jenen in der ersten Ausführungsform, so dass keine Erläuterung dieser Ventile unterbleibt.

#### Abgewandelte Beispiele

[0097] Es wird drauf hingewiesen, dass die Erfindung nicht auf die Einzelheiten der dargestellten Ausführungsformen beschränkt ist, sondern unter verschiedenen Änderungen, Abwandlungen oder Verbesserungen in anderer Art ausgeführt werden kann, ohne den Schutzbereich der Erfin-

dung zu verlassen.

[0098] In der veranschaulichten ersten und zweiten Ausführungsform ist in der Zirkulationsleitung 403 der Gas-Flüssigkeit-Separator 406 angeordnet. Diese Anordnung kann auf ein Brennstoffzellensystem angewandt werden, das anstelle des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung oder des Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 als Wasserstoffgasversorgung einen Reformer zum Umwandeln eines Rohbrennstoffs verwendet, um Wasserstoffgas zu erzeugen.

[0099] Im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform ist in der Hauptstromleitung 401 der Gas-Flüssigkeit-Separator 424 angeordnet. Diese Anordnung ist gleichermaßen anwendbar für das Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform und für das Brennstoffzellensystem, das als Wasserstoffgasversorgung einen Reformer aufweist.

[0100] Im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform ist zwischen den Druckreduzierventilen 418, 422 der Wärmetauscher 420 angeordnet. Der Wärmetauscher 420 kann stromabwärts des Druckreduzierventils 422 angeordnet werden. Da das Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform das Druckreduzierventil 404 verwendet, kann bei Bedarf ein geeigneter Wärmetauscher stromabwärts des Druckreduzierventils 404 angeordnet werden.

[0101] Im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform wird der Betrieb des Brennstoffzellensystems bei dessen Inbetriebnahme nach der in Fig. 5 gezeigten Steuerungsroutine gesteuert. Dieselbe Steuerungsroutine kann zur Steuerung des Brennstoffzellensystems der ersten Ausführungsform und des Brennstoffzellensystems, in dem als Wasserstoffgasversorgung ein Reformer verwendet wird, angewendet werden. In dem Fall, in dem die Steuerung nach der Routine von Fig. 5 am Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform ausgeführt wird, während sich das System in einem Niedertemperaturinbetriebnahmezustand befindet, wird zunächst die Pumpe 410 angetrieben, um das Wasserstoffgas aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung anzusaugen. Anschließend werden die geöffneten/geschlossenen Stellungen der Absperrenventile 402, 408, 412 geschaltet oder umgeschaltet, und die Pumpe 410 wird angetrieben, um die in den Wasserstoffgaskanälen verbliebenen Verunreinigungen zusammen mit dem aus dem Behälter 200 angesaugten Wasserstoffgas in Zirkulation zu versetzen, so dass sich die Verunreinigungen im Wasserstoffgas homogen ausbreiten oder verteilen.

#### Patentansprüche

1. On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:
  - eine Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200), die eine Wasserstoffgas absorbierende Legierung aufweist, die in der Lage ist, Wasserstoffgas zu absorbieren oder abzugeben,
  - eine Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt,
  - eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,
  - eine zweite Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer ersten Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des

von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung (401) ermöglicht,  
 eine in der zweiten Leitung (403) angeordnete Pumpe (410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zur ersten Stelle in der ersten Leitung (401),  
 eine dritte Leitung (405), die eine in der ersten Leitung (401) zwischen einem Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) und der ersten Stelle liegende 10 zweite Stelle mit einer in der zweiten Leitung (403) zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle (100) und der Pumpe (410) liegenden dritten Stelle verbindet und ein Durchströmen eines von der ersten Leitung (401) abgeleiteten Wasserstoffgases zur Zufuhr zur zweiten 15 Leitung (403) ermöglicht,  
 ein in der ersten Leitung (401) zwischen der zweiten Stelle und der ersten Stelle angeordnetes erstes Ventil (402), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu 20 verhindern,  
 ein in der zweiten Leitung (403) zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle und der dritten Stelle angeordnetes zweites Ventil (408), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen 25 bzw. zu verhindern,  
 ein in der dritten Leitung (405) angeordnetes drittes Ventil (412), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, und 30  
 eine Steuerung (50), die die Pumpe (410) und das erste, zweite und dritte Ventil (402, 408, 412) ansteuert, wobei:  
 wenn der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases größer ist als der Referenzdruck, die Steuerung (50) das erste und zweite Ventil (402, 408) öffnet und das dritte Ventil (412) schließt, so dass das von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle (100) durch die erste Leitung (401) zugeführt wird und das von der Brennstoffzelle (100) abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung (403) zur ersten Leitung (401) zurückströmt, wobei die Pumpe (410) das Wasserstoffgas in Zirkulation 40 versetzt, und 45  
 wenn der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases niedriger ist als der Referenzdruck, die Steuerung (50) das erste und zweite Ventil (402, 408) schließt und das dritte Ventil (412) öffnet und die Pumpe (410) das Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) ansaugen lässt und das Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführen lässt, so dass das Wasserstoffgas der Brennstoffzelle von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird.  
 2. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, wobei wenigstens ein Ventil des ersten und zweiten Ventils (402, 408) eine Vorrichtung zum Verhindern einer entgegengesetzten Strömung aufweist, die verhindert, dass Wasserstoffgas von der Brennstoffzelle zur Wasserstoffgasspeichervorrichtung strömt.  
 3. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Pumpe (410) mit einer ersten Geschwindigkeit angetrieben wird, um das Wasserstoffgas in Zirkulation zu versetzen, und mit einer im Vergleich zur ersten Geschwindigkeit größeren zweiten Geschwindigkeit, um Wasserstoffgas von der Wasser-

stoffgasspeichervorrichtung (200) anzusaugen.  
 4. On-board-Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, das des weiteren eine zwischen dem Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) und der ersten Stelle in der ersten Leitung (401) angeordnete Druckreduziervorrichtung (404) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases aufweist.  
 5. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 4, das des weiteren aufweist:  
 eine vierte Leitung (409), die sich von einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung (401) zwischen der Druckreduziervorrichtung (404) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) in Richtung Außenumgebung des Fahrzeugs erstreckt, und  
 ein in der vierten Leitung (409) angeordnetes Entlastungsventil (416), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, wobei wenn der Wasserstoffgasdruck in einem Abschnitt der ersten Leitung (401) zwischen der Druckreduziervorrichtung (404) und der Brennstoffzelle (100) größer ist als ein Referenzdruck, das Entlastungsventil (416) geöffnet wird, so dass Wasserstoffgas von der ersten Leitung (401) durch die vierte Leitung (409) zur Außenumgebung des Fahrzeugs abgegeben wird.  
 6. On-board-Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das des weiteren einen in wenigstens einer Leitung der ersten und zweiten Leitung (401, 403) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (406) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle (100) abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponenten aufweist.  
 7. On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:  
 eine Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200, 300), zum Abgeben eines mit einem bestimmten Druck gespeicherten Wasserstoffgases,  
 eine Brennstoffzelle (100), die mit den von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200, 300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen,  
 eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,  
 wenigstens eine in der ersten Leitung (401) angeordnete Druckreduziervorrichtung (404, 418, 422) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases,  
 eine zweite Leitung (409), die sich von einer in der ersten Leitung (401) zwischen der wenigstens einen Druckreduziervorrichtung (404, 418, 422) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) zur Außenumgebung des Fahrzeugs liegenden bestimmten Stelle erstreckt,  
 ein in der zweiten Leitung angeordnetes Entlastungsventil (416), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, wobei wenn der Druck des Wasserstoffgases, das in einer Leitung vorhanden ist, die näher an der bestimmten Stelle liegt als das Entlastungsventil, größer ist als ein Re-

renzdruck, das Entlastungsventil (416) geöffnet wird, so dass das Wasserstoffgas von der ersten Leitung (401) durch die zweite Leitung (409) zur Außenumgebung des Fahrzeugs abgegeben wird.

8. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 7, wobei ein Auslass der zweiten Leitung (409) so angeordnet ist, dass das von der zweiten Leitung abgegebene Wasserstoffgas zur Fahrbahn hin orientiert ist.

9. On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist: 10 eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200, 300), die Wasserstoffgas liefert, eine Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200, 300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische 15 Leistung zu erzeugen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt,

eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,

eine zweiten Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle mit einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, und einen in der zweiten Leitung (403) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (406) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponente.

10. On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:

eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300), die Wasserstoffgas liefert,

eine Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt,

eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,

eine zweite Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, und

einen in der ersten Leitung (401) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (424) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponente.

11. On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:

eine Wasserstoffgasspeichervorrichtung (300) zum Abgeben eines mit einem bestimmten Druck gespeicherten Wasserstoffgases,

eine Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung

zu erzeugen,

eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,

wenigstens eine in der ersten Leitung angeordnete Druckreduziervorrichtung (418, 422) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases,

eine in der ersten Leitung (401) zwischen der wenigstens einen Druckreduziervorrichtung (418) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) angeordnete Temperaturhöhungsvorrichtung (420) zum Anheben der Temperatur des durch die erste Leitung strömenden Wasserstoffgases.

12. On-board-Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:

eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300), die Wasserstoffgas liefert,

eine Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt, wobei die Brennstoffzelle eine Vielzahl von Kanälen aufweist, durch welche Wasserstoffgas strömt,

eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,

eine zweite Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur ersten Leitung ermöglicht,

eine in der zweiten Leitung angeordnete Pumpe (410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zur bestimmten Stelle in der ersten Leitung, und

eine Steuerung (50), die die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) und die Pumpe (410) ansteuert, wobei

bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems, die Steuerung (50) die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung Wasserstoffgas liefert lässt und die Pumpe antriebt, um eine Wasserstoffgasströmung durch wenigstens einen Abschnitt der ersten und zweiten Leitung und die Kanäle der Brennstoffzelle zu induzieren, um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zu mischen, um ein homogenes Gemisch bereitzustellen.

13. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 12, das des weiteren einen in wenigstens einer Leitung der ersten und zweiten Leitung (401, 403) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (406, 424) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponente aufweist.

14. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 12 oder 13, das des weiteren wenigstens eine zwischen dem Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (300) und einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung

(401) angeordnete Druckreduziervorrichtung (418, 422) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases aufweist.

15. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 14, das des weiteren aufweist:

eine dritte Leitung (409), die sich von einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung (401) zwischen der wenigstens einen Druckreduziervorrichtung (418, 422) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) zur Aussenumgebung des Fahrzeugs erstreckt, und  
10  
ein in der dritten Leitung (409) angeordnetes Entlastungsventil (416), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen eine Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, wobei  
15

wenn ein Druck des Wasserstoffgases in einem Abschnitt der ersten Leitung zwischen der Druckreduziervorrichtung und der Brennstoffzelle größer ist als ein Referenzdruck, das Entlastungsventil geöffnet wird, so dass Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die 20 dritte Leitung zur Aussenumgebung des Fahrzeugs abgegeben wird.

16. On-board-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 14 oder 15, das des weiteren eine in der ersten Leitung (401) zwischen der wenigstens einen Druckreduziervorrichtung (422) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) angeordnete Temperaturerhöhungsvorrichtung (420) zum Anheben der Temperatur des durch die erste Leitung strömenden Wasserstoffgases aufweist.

30  
17. Verfahren zum Steuern eines On-board-Brennstoffzellensystems zum Einbau in ein Kraftfahrzeug mit einer Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200), die eine Wasserstoffgas absorbierende Legierung aufweist, die in der Lage ist, Wasserstoffgas zu absorbieren oder abzugeben, und einer Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, und des weiteren: (a) einer ersten Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, (b) einer zweiten Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer ersten Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, (c) einer in der zweiten Leitung (403) angeordneten Pumpe (410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zur ersten Stelle in der ersten Leitung, (d) einer dritten Leitung (405), die eine in der ersten Leitung (401) zwischen einem Auslass der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) und der ersten Stelle liegende zweite Stelle mit einer in der zweiten Leitung (403) zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle (100) und der Pumpe (410) liegenden dritten Stelle verbindet und ein Durchströmen eines von der ersten Leitung abgeleiteten Wasserstoffgases zur Zufuhr zur zweiten Leitung ermöglicht, (e) einem in der ersten Leitung (401) zwischen der zweiten Stelle und der ersten Stelle angeordneten ersten Ventil (402), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, (f) einem in der zweiten Leitung (403) zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle und der dritten Stelle angeordneten zweiten Ventil  
55  
60  
65

(408), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, und (g) einem in der dritten Leitung (405) angeordneten dritten Ventil (412), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen bzw. zu verhindern, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Bestimmen, ob der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases größer ist als ein Referenzdruck,

wenn der Druck des Wasserstoffgases größer ist als der Referenzdruck, Öffnen des ersten und zweiten Ventils (402, 408) und Schließen des dritten Ventils (412), so dass das von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle durch die erste Leitung (401) zugeführt wird und das von der Brennstoffzelle (100) abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung (403) zur ersten Leitung (401) zurückströmt, wobei die Pumpe (410) das Wasserstoffgas in Zirkulation versetzt, und

wenn der Druck des Wasserstoffgases niedriger ist als der Referenzdruck, Schließen des ersten und zweiten Ventils (402, 408) und Öffnen des dritten Ventils (412), und Veranlassen, dass die Pumpe (410) Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung (200) ansaugt und das Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführt, so dass das Wasserstoffgas der Brennstoffzelle von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird.

18. Verfahren zum Steuern eines On-board-Brennstoffzellensystems zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, mit einer Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300), die Wasserstoffgas liefert, und einer Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt, wobei die Brennstoffzelle eine Vielzahl von Kanälen aufweist, durch welche Wasserstoffgas strömt, und des weiteren: (a) einer ersten Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, (b) einer zweiten Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer bestimmten Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, und (c) einer in der zweiten Leitung (403) angeordneten Pumpe (410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung (403) zur bestimmten Stelle in der ersten Leitung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Veranlassen, dass die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (401) bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems Wasserstoffgas liefert, und Antreiben der Pumpe (410) zum Induzieren einer Wasserstoffgasströmung durch wenigstens einen Abschnitt der ersten und zweiten Leitung (401, 403) und die Kanäle der Brennstoffzelle, um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zu mischen, um ein homogenes Gemisch bereitzustellen.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das On-board-Brennstoffzellensystem des weiteren ein Auslassventil

(414) aufweist, das in einer dritten Leitung (407) angeordnet ist, die von der zweiten Leitung (403) abzweigt und zu einer Außenumgebung des Fahrzeugs führt, wobei das Verfahren des weiteren die folgenden Schritte aufweist:

Bestimmen, ob eine offene Spannung der Brennstoffzelle (100) bis auf einen bestimmten Pegel angestiegen ist,

Anlegen einer Last an die Brennstoffzelle, wenn die offene Spannung der Brennstoffzelle (100) gleich oder 10 größer ist als der bestimmte Pegel, und Öffnen des Auslassventils (414) für eine vorgegebene Zeitdauer, um das Gemisch aus Verunreinigungen und Wasserstoffgas abzugeben.

5

15

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

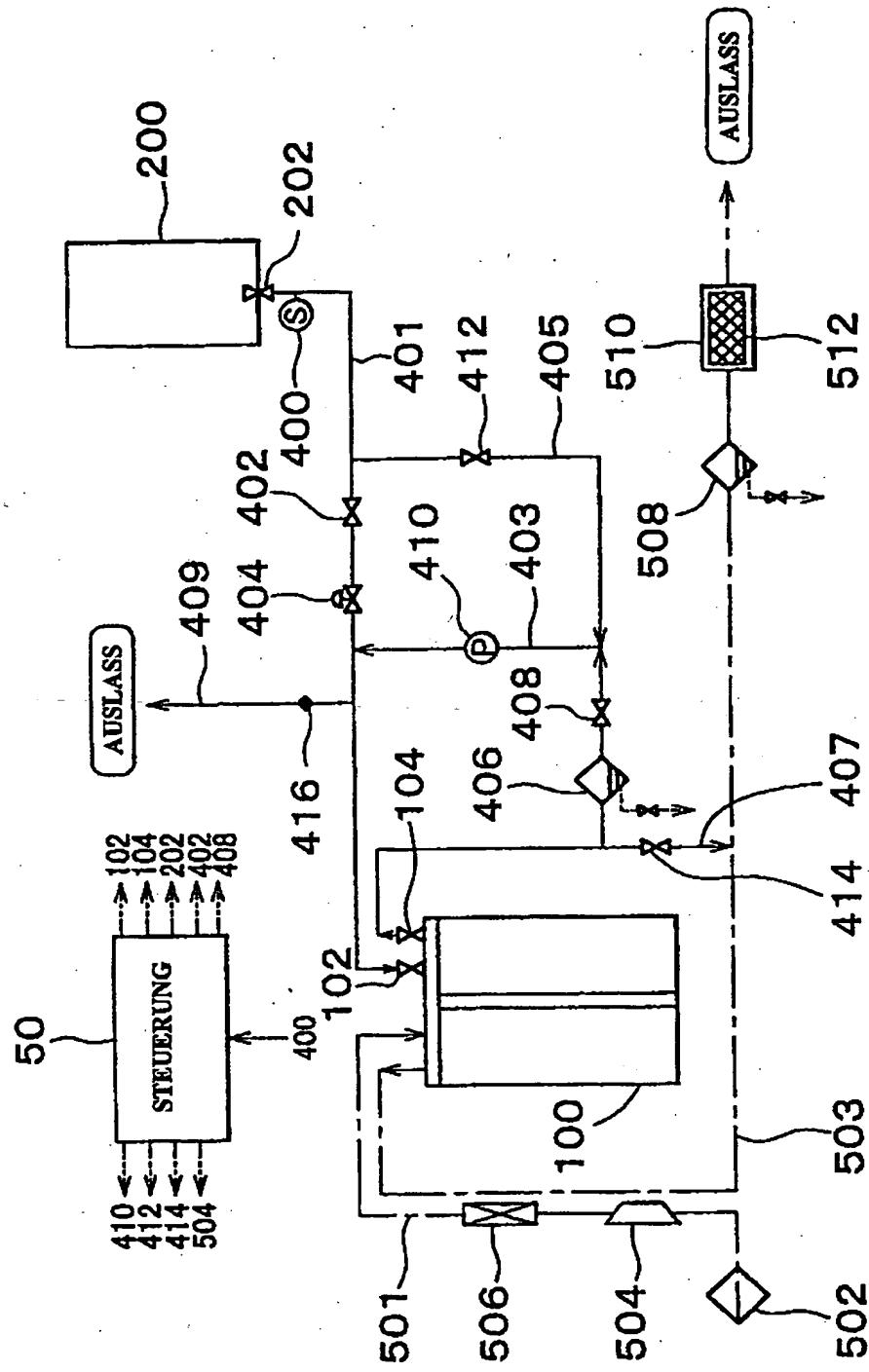
50

55

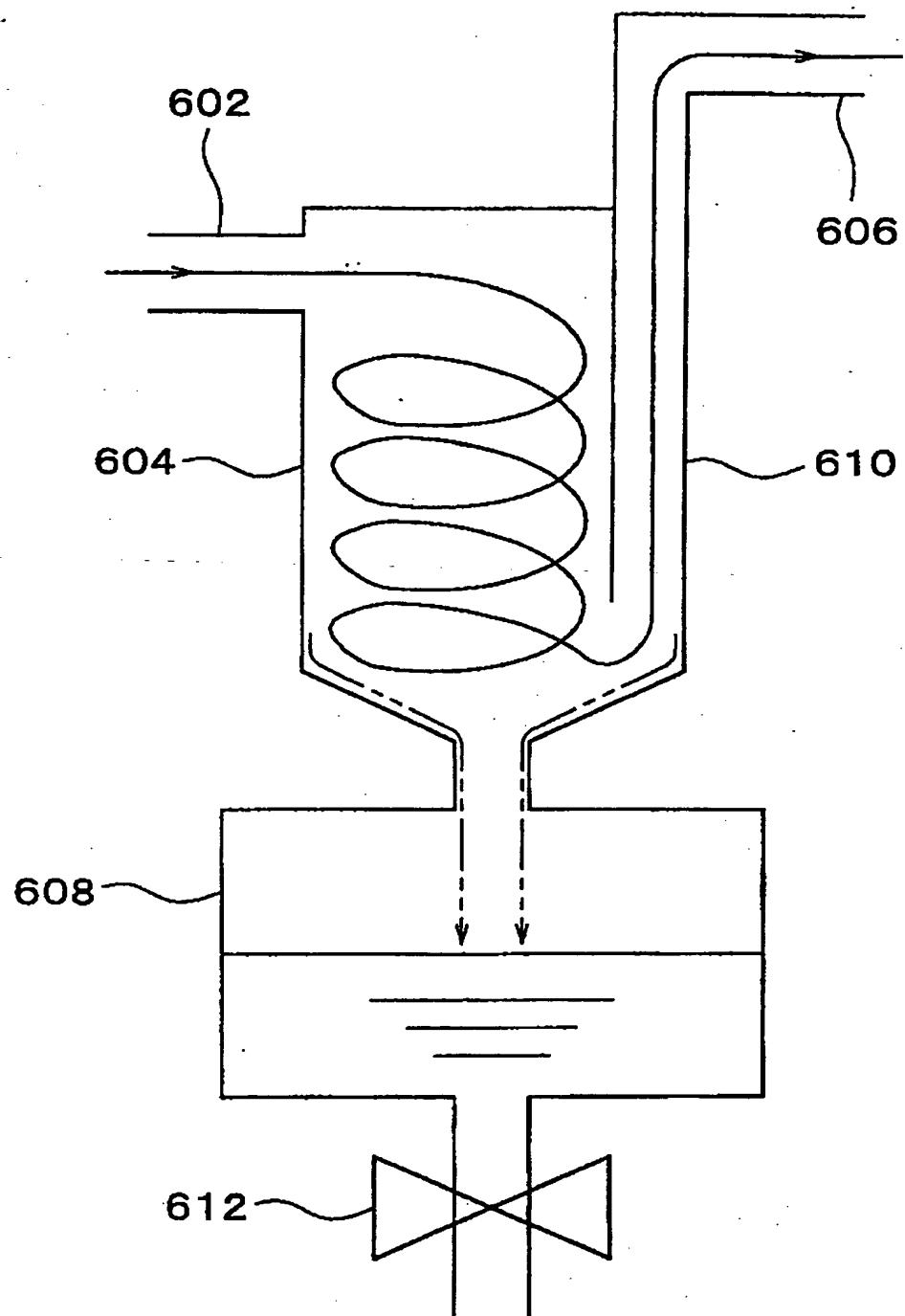
60

65

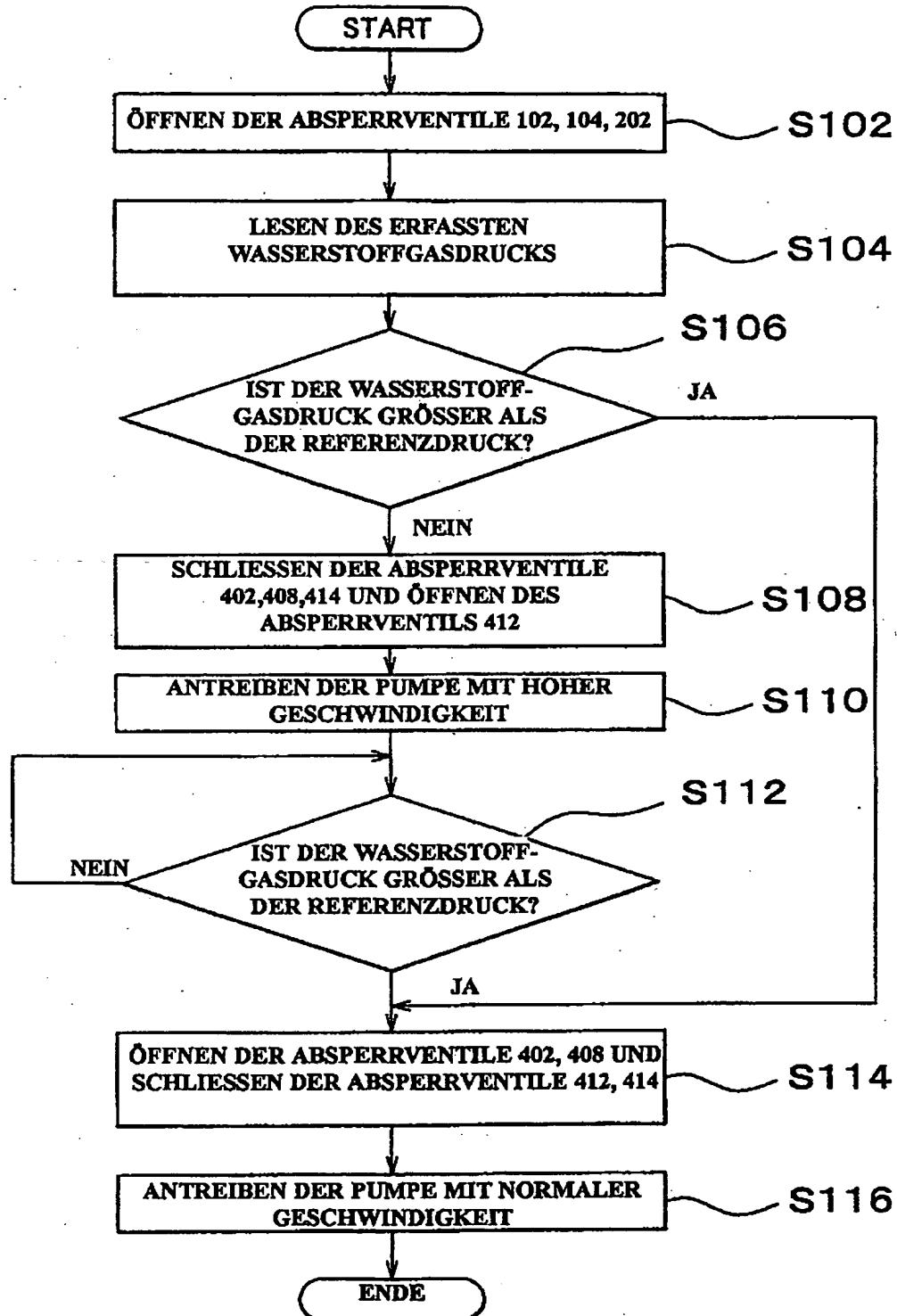
८८



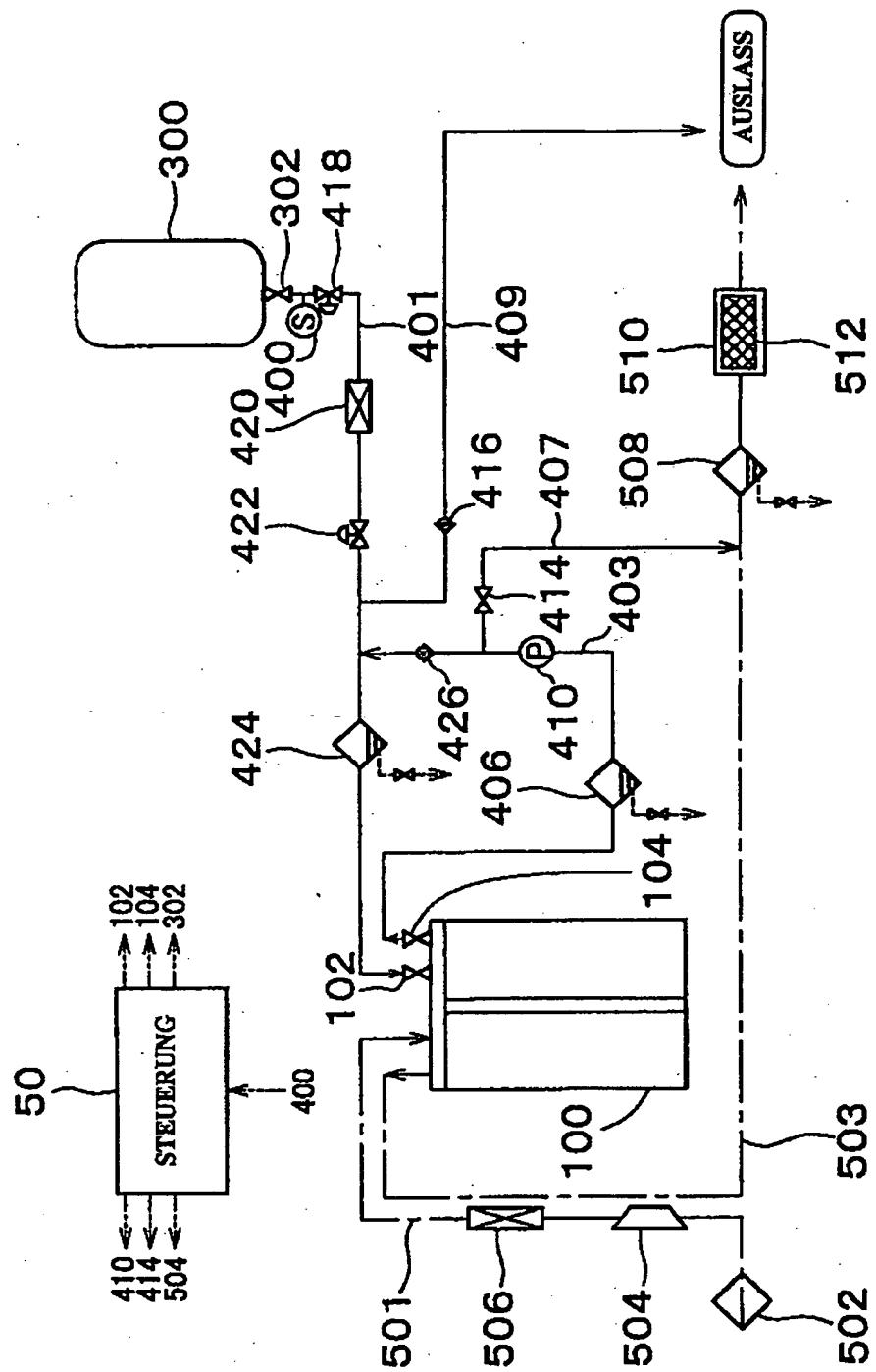
## FIG. 2



## FIG. 3



## FIG. 4



## FIG. 5

